

$$\rho = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot V_i \quad (1)$$

dimana :

ρ_i = densitas mineral-mineral, densitas fluida

V_i = fraksi volume

Densitas batuan beku sangat dipengaruhi oleh kandungan pH mineralnya (felsik - mafik). Rentang nilai densitas antar batuan beku cenderung kecil jika dibandingkan batuan sedimen (pengaruh *volume fracture*), namun nilainya lebih tinggi dibanding batuan sedimen.

2) Kecepatan Vp Batuan Vulkanik

Velocity Vp ialah kecepatan gelombang kompresional yang mampu ditempuh suatu batuan. Kecepatan Vp memiliki hubungan persamaan yang berbanding lurus dengan densitas. Persamaan umum densitas-kecepatan batuan beku yang sering digunakan diantaranya menggunakan persamaan Christensen & mooney (1995) [4] dan Godfrey (1997)[5], dimana :

$$\rho_{Christensen} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 0.541 + 0.36V_p \quad (2)$$

$$\rho_{Godfrey} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = 2.4372 + 0.076V_p \quad (3)$$

dimana :

ρ = Densitas

V_p = Kecepatan Vp

3) Atenuasi Gelombang Seismik Batuan Vulkanik

Atenuasi ialah gabungan antara pelepasan energi dan penyerapan frekuensi medium. Pengaruh atenuasi pada gelombang seismik yakni dengan penurunan amplitudo dan melebarnya sinyal (panjang gelombang). Koefisien atenuasi batuan beku lebih kecil dibanding batuan lainnya (high attenuation). Koefisien atenuasi dan faktor disipasi, dirumuskan dengan :

$$\alpha = \frac{1}{x_2 - x_1} \cdot 20 \cdot \log \left(\frac{A(x_1)}{A(x_2)} \right) \quad (4)$$

dimana :

α = koefisien atenuasi (dalam dB m⁻¹)

$A(x_1)$ = amplitudo pada jarak x_1

$A(x_2)$ = amplitudo pada jarak x_2

x_1, x_2 = jarak (m)

4) Resistivitas Batuan Vulkanik

Aliran arus listrik di dalam batuan dipengaruhi oleh banyaknya elektron bebas. Faktor yang mempengaruhi nilai resistivitas batuan : kandungan air, tekstur batuan, jenis batuan, porositas dan permeabilitas, mineral lempung, salinitas[3].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan metodologi pada penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan tinjauan geologi untuk mempelajari karakter fisis batuan vulkanik, parameternya, serta kondisi geologi lapangan penelitian. Kemudian dilakukan pengambilan sampel di lapangan berupa blok batuan dan *hand sampling*, serta proses coring. Dari coring yang didapat, dilakukan berbagai pengukuran parameter fisis batuan dan pendeskripsian petrologi, serta dianalisa hubungan antara parameter fisis dan pengaruh petrologi batuan terhadap parameter fisis.

B. Data Penelitian

Pada pengambilan sampel di lapangan dan pembuatan coring batuan sehingga didapatkan 45 coring batuan, dari 16 sampel batuan, yang mewakili 6 satuan batuan (Gambar 3). Enam satuan batuan tersebut, yakni Lava Anjansmara (Qla), Lava Tua Arjuno Welirang (Qltaw), Aliran Piroklastik Tua Arjuno Welirang (Qaptaw), Lava Erupsi Samping (Qes) Lava Welirang I (Qlw I), Aliran Piroklastik Welirang (Qapw).

C. Metode Penelitian

Pengukuran densitas sampel coring batuan dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes. Untuk melakukan pengukuran densitas dilakukan dengan mengambil data variabel ukur massa kering (Mk), berat kering (Wk), berat basah atau berat batuan saat batuan tersaturasi air dan dibuat dalam keadaan melayang (Wsat).

Pengukuran data resistivitas dilakukan dengan menggunakan alat ukur resistivitymeter yang terhubung dengan elektroda pada batuan. Elektroda dibuat dari lempengan tembaga yang menyentuh langsung ke batuan, dimampatkan, dan dihubungkan ke resistivitymeter[6] (Gambar 2a). Variabel yang terukur pada resistivity meter ini berupa arus injeksi yang mengalir masuk ke batuan (Ampere) dan beda potensial di kedua ujung batuan (Volt)

Pengukuran parameter Vp dan atenuasi menggunakan perangkat signal generator, transducer, receiver, dan osiloskop (Gambar 2b). Kemudian variabel yang diukur pada pengambilan data kecepatan Vp ialah waktu tempuh gelombang longitudinal dan dimensi panjang batuan. Pengukuran atenuasi dapat dilakukan dengan mengukur *peak to peak amplitude* pada suatu batuan dengan dimensi panjang x dan membandingkannya dengan variasi dimensi panjang yang berbeda, namun jenis batuan yang sama.



(a)



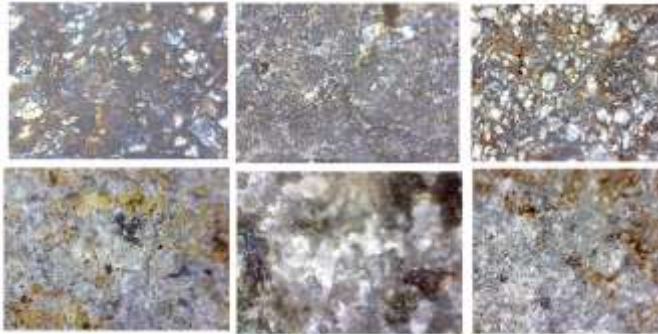
(b)

Gambar. 2. Metode pengukuran Resistivitas (a) dan Pengukuran Kecepatan Vp dan atenuasi pada batuan

III. HASIL DAN ANALISA

A. Analisa Petrologi Batuan Vulkanik

Berdasarkan analisa petrologi yang dilakukan pada sampel (Gambar 3), batuan vulkanik Arjuno-Welirang memiliki tipe intermediate-mafik dengan nama batuan dominasi andesit-basaltik dan basalt. Disebut tipe intermediate hingga mafik, dikarenakan komposisi mineralnya sebagian besar sama seperti, kuarsa, plagioklas, piroksen, olivin dan amfibol. Yang membedakan antar satuan batuan satu dengan satuan batuan lainnya hanya struktur dan persentase komposisi dominan mineral.



Gambar. 3. Hand sampling section pada 6 satuan batuan dengan pembesaran 100x

B. Analisa Hubungan Parameter Fisis Batuan Vulkanik

Berdasarkan perbedaan trend dan sebaran data pada crossplot, maka batuan vulkanik sampel dapat dikelompokkan 3 kategori produk batuan vulkanik, yakni produk kategori lava, piroklastik, dan lava vesikular.

Berdasarkan hasil penelitian rentang parameter densitas batuan vulkanik Arjuno Welirang berkisar antar 2400 – 2900 kg/m³, sedangkan rentang resistivitas bervariasi dari 30-185 kOhm.m, kemudian rentang nilai kecepatan Vp bervariasi dari 5100-6700 m/s, dengan koefisien atenuasinya memiliki rentang 0.05–0.23x10⁻³dB/m. Dimana persamaan hubungan antar parameternya di jelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1.

Hubungan parameter fisis batuan vulkanik kondisi *dry rock*

Hubungan Parameter	Persamaan	Keterangan
Densitas – Kecepatan Vp	$V_p = 2.7778\rho - 1.5$	Berbanding lurus
Resistivitas – Kecepatan Vp	$V_p = 13328\rho^{0.075}$	Berbanding terbalik
Densitas – Resistivitas	$\rho_{resist} = 191.94x^3 - 1370.9x^2 + 3070.2x - 1988.1$ (x= densitas)	Berbanding terbalik
Densitas – Koefisien Atenuasi	$\alpha = 0.2747\rho^2 - 1.475\rho + 2.0928$	Berbanding terbalik
Kecepatan Vp – Koefisien Atenuasi	$\alpha = 0.0266V_p^2 - 0.3093V_p + 1.0184$	Berbanding terbalik
Resistivitas – Koefisien Atenuasi	$\alpha = 0.2747\rho^2 - 1.475\rho + 2.0928$	Berbanding lurus

*Keterangan – Hubungan antar parameter fisis

Sehingga dapat digaris bawahi bahwa pada batuan vulkanik dengan kondisi dry, kecepatan Vp akan berbanding lurus dengan densitas, atau dapat didefinisikan kecepatan Vp akan naik seiring dengan naiknya densitas. Sedangkan resistivitas akan berbanding terbalik dengan densitas-kecepatan Vp, atau dapat didefinisikan resistivitas akan semakin naik nilainya, apabila nilai densitas-kecepatan Vp semakin turun nilainya (Gambar 4). Hal ini karena pada kondisi dry rock atau pada saat batuan kering resistivitas batuan yang memiliki pori dengan densitas menurun, lebih akan memiliki nilai resistivitas yang tinggi akibat perantara antar kontak mineralnya tidak serapat dengan kontak mineral pada batuan vulkanik produk lava, sehingga batuan ini tidak konduktif dibandingkan batuan dengan densitas yang lebih besar.

IV. KESIMPULAN

Dari Penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Rentang parameter batuan vulkanik *dry rocks* memiliki nilai densitas, kecepatan Vp, faktor atenuasi, dan resistivitas yang tinggi dibandingkan dengan batuan kelompok lain seperti batuan sedimen.
2. Dari hasil pengukuran dan analisa pada batuan vulkanik *dry rocks*, nilai densitas akan berbanding lurus dengan kecepatan Vp, dan nilai resistivitas akan berbanding terbalik dengan densitas-kecepatan Vp.
3. Tipe batuan vulkanik Gunung Arjuno-Welirang merupakan tipe intermediate hingga mafik, dengan dominasi batuan andesit-basaltik dan basalt.
4. Karena hasil parameter fisis (densitas, Vp, atenuasi, dan resistivitas) batuan vulkanik sangat dipengaruhi oleh faktor mineral, tekstur dan struktur batuanya, maka deskripsi petrologi dapat membantu proses interpretasi hasil pengukuran dan analisa setiap parameter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutikno, Bronto. 2002. Vulkanologi. Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Geologi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
- [2] Berita Berkala Vulkanologi, Edisi Khusus, 1992, G. Arjuno-Welirang.
- [3] Schoen, J. H., 2011, Handbook of Petroleum Exploration and Production Volume 8 :Physical Properties of Rocks, Oxford UK, Elsevier.
- [4] Christensen, N.I. and Mooney, W.D., 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: a global view. J. Geophys. Res., 100, 9761–9788.
- [5] Mavko, G., Mukerji T., Dvorkin J., 2009, The Rock Physics Handbook : Tools for Seismic Analysis of Porous Media, Cambridge University Press, New York
- [6] bousrafa, E.M., Somerville, J.M., Hamilton, S.A. Holden, P.W., 2013, A laboratory measurement technique for axial and radial resistivity at ambient or reservoir stress state conditions Institute of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University, Edinburgh E ,UK